

Вопрос взаиморасчётов, возникший при реструктуризации крупных предприятий привёл к проблеме достоверного метрологического обеспечения измерений расхода и плотности продукции, передаваемой и принимаемой продукции различными производственными подразделениями. Так, для горно-обогатительных предприятий особую трудность представляет определение расхода и плотности пульпы, поступающей в трубопроводную транспортную систему после флотационных машин, для случаев, когда она содержит газ. При этом образуется трёхфазная среда - смесь твёрдой, жидкой и газообразной фаз, или иначе двухкомпонентный продукт в трёхфазной среде пульпы. Объёмное содержание газовой фазы в трёхфазной пульпе может составлять до 20%, а иногда оно может быть и выше. Пренебрежение учёта влияния газосодержания при сведении сырьевых балансов производственными подразделениями, как показано в работе [1], может привести к значительному расхождению данных измерений массового расхода и количества передаваемой продукции. Для определения параметров потока, состоящего из трёх фаз, в режиме реального времени необходимо распознать три компонента - твёрдый, жидкий и газообразный, проходящих через средства измерений, что, в свою очередь, требует системы измерений фракционного состава, способного различать фазы в общем потоке. Надо заметить, что пульповый продукт транспортируется в ограниченном трубной пространством, следовательно, зная содержание двух фаз, можно рассчитать третью. Отсюда следует, что для описания трёхфазного потока необходимы измерения скоростей трёх фаз, двух плотностей и, для приведения к стандартным условиям, значения давления и температуры потока. Из вышесказанного следует, что измерительная система должна одновременно выполнить семь измерений, что усложняет реализацию поставленной задачи. Сегодня на рынке отсутствуют приборы по учёту отдельно каждой фазы в рассматриваемой трёхфазной среде. Для нефтедобывающей отрасли разработаны и эксплуатируются многофазные расходомерные установки, позволяющие определить покомпонентный состав сырой нефти - нефти, воды и попутного нефтяного газа [2,3]. В данной работе представлены методы определения параметров двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы с учётом приборной базы, имеющейся на мировом рынке. Рассмотрим течение трёхфазной пульпы в трубопроводной транспортной системе горно-обогатительных предприятий. После процесса флотации пульпа содержит пузырьки газа, в результате чего образуется газированная пульпа. В дальнейшем при движении по трубопроводам пузырьки всплывают и образуют структуру расслоённого течения (незаполненного канала). В работе [4] показано, что после флотации диаметр воздушных пузырьков составляет от 1 до 5 мм, а скорость их всплытия в соответствии с работой [5] составляет порядка 0,25 м/с. Как показано в работе [6] максимальная скорость течения двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы не превышает $= 4$ м/с.

Следовательно, при средней скорости течения пульпы 5 м/с через 10 м вниз по потоку в трубопроводе диаметром 0,5 м образуется расслоённое течение. Такой подход, как сказано выше, справедлив, если не учитывать воздействие химического реагента, используемого в технологическом процессе флотации. С учётом добавки скорость всплытия воздушных пузырей может существенно уменьшиться, при этом расслоённое течение может образоваться через 50 м и более. Следовательно, в пульпопроводе возможны два режима течения трёхфазной пульпы - газированный (пузырьковый) и расслоённый. Рассмотрим методы измерений параметров трёхфазной пульпы для этих двух случаев течения применительно к приборам учёта, имеющимся сегодня на рынке. Запишем уравнения по определению средней скорости и плотности трёхфазной среды пульпы, (1), (2) где - объёмная концентрация твёрдой фазы; соответственно, скорость твёрдой, газовой и жидкой фаз; соответственно, плотность твёрдой, газовой и жидкой фаз. Как следует из уравнения (1), при течении трёхфазной пульпы необходимо учитывать скольжение между отдельными фазами, имея в виду, что скорость твёрдой фазы меньше скорости жидкости, которая, в свою очередь, меньше скорости газа, если последний не диспергирован в ней. В работе [7] представлена схема устройства, позволяющего произвести измерения расхода и плотности двухкомпонентного продукта. В соответствии со схемой устройства производится измерение пяти параметров трёхфазной смеси в двух сечениях потока газированной пульпы, с объёмным содержанием газа в условиях измерений 2-6%. Схема включает пять измерительных преобразователей, три из которых - преобразователи расхода 1, плотности 2 и давления 7 установлены в сечении А-А (рис.1). На достаточном удалении от сечения А-А, в сечении Б-Б размещены преобразователи расхода 3 и давления 4. Сигналы от всех преобразователей поступают на вычислительное устройство 6, на выходе которого имеется измеритель концентрации пульпы 5, принцип работы которого основан на том, что разность между объёмными расходами в сечениях А-А и Б-Б зависит от расширения газовой фазы при уменьшении давления от в сечении А-А до РБ в сечении Б-Б. С учётом ряда допущений автор работы приводит уравнение для определения концентрации газа в сечении А-А. (3) где QА и QБ - соответственно, объёмные расходы пульпы в сечениях А-А и Б-Б; РА и РБ - соответственно, давление в сечениях А-А и Б-Б. Из уравнения (2) следует выражение для определения концентрации твёрдой фазы (4) Если учесть, что $\rho_{ж} \gg \rho_{г}$, тогда (5) Массовый расход твёрдой фазы Gт в работе определяется в зависимости от объёмного расхода смеси Qс по уравнению (6) Решая уравнение (3) совместно с уравнениями (5) и (6) получено выражение для определения массового расхода твёрдой фазы (7) Выражение (7) справедливо при равенстве скоростей фаз, в него входят пять величин, которые измеряются в соответствии со схемой устройства, представленной на рис. 1. Рис. 1 - Схема устройства для измерений расхода твёрдого компонента в

газированной пульпе Промышленные испытания устройства показали, что предельная приведённая погрешность измерения массового расхода твёрдой фазы не превышает 4%. Схем устройств измерения расхода твёрдой фазы в газированной пульпе при объёмном содержании газовой фазы более 6%, а также при расслоённом течении пульпы в канале, в литературе нет. Данная проблема, как было сказано выше, появилась в последнее время в связи с реорганизацией горно-обогатительных предприятий. Авторами данной статьи предложена схема определения расхода и плотности двухкомпонентного продукта (смесь жидкой и твёрдой фазы) в трёхфазной пульпе. Для двухкомпонентного продукта пульпы в трёхфазной среде можно записать , (8) где ϕ - концентрация пульпы в трёхфазной среде; ρ - плотность пульпы в трёхфазной среде. С учётом выражения (8) уравнение (2) примет вид (9) или (10) Используя выражение (10) после простых преобразований можно получить формулу для определения плотности пульпы ρ (11) С целью определения расхода и уровня пульпы в трубопроводе используем ультразвуковой прибор 1 (рис.2), позволяющий определить расход и уровень двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде L (рис.3). Зная уровень пульпы L можно определить площадь трубопровода, занимаемой газом, S_g , который можно вычислить как разницу площади сектора круга $S_{сек}$ с углом 2α и площади треугольника $S_{тр}$. (12) (13) (14) (15) где R - радиус трубопровода; Здесь измеряется в радианах. Следовательно, концентрация газовой фазы определяется по формуле , (16) где S - площадь проходного сечения трубопровода. Схема устройства для измерения расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы (рис.2) включает четыре измерительных первичных преобразователя, - преобразователи расхода и уровня 1, плотности 2 и датчик давления 3. Сигналы от всех четырёх преобразователей поступают на вычислительное устройство 5, на выходе которого имеется измеритель расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде 4. Рис. 2 - Схема устройства для измерений расхода и плотности двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде пульпы Рис. 3 - Схема определения уровня двухкомпонентного продукта в трёхфазной среде Измерения давления в сечениях А-А и Б-Б необходимы для компенсации параметров газовой фазы , так как величина давления в этих сечениях будет разной. Метод измерений, представленный в данной работе, позволяет решить наболевшую проблему сведения сырьевого баланса между подразделениями крупных горнообогатительных компаний, а именно, по определению расхода пульпового продукта в трёхфазной среде.